

# Conmutadores de Fase 180° de Banda Ancha con Transiciones Coplanares

Enrique Villa, Beatriz Aja, Luisa de la Fuente, Eduardo Artal

villae@unican.es

Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria.

Avda. de Los Castros s/n, 39005, Santander, Cantabria

**Abstract-** The design, assembly and characterization of three different phase switches in millimetre wave frequencies based on PIN diodes is presented. These phase switches provide wide bandwidth, from 10 GHz to 40 GHz, and a phase shift around 180°. The phase switches have been designed with broadband coplanar to slot-line transitions and made on Alumina substrate with commercial PIN diodes HPND-4005, from Agilent, as switching devices. Three different phase switches are presented in order to compare different coplanar to slot-line transitions and transmission paths.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la comunidad científica está muy interesada en la observación del cielo, prestando especial atención en la medida de la radiación del fondo cósmico de microondas (CMB), como principal evidencia que sustenta la teoría del Big Bang. Para ello se han desarrollado misiones espaciales de próximo lanzamiento [1] para su medida, y como medio para complementar los datos obtenidos de las mismas, se está en desarrollo de proyectos basados en estaciones terrenas para la medida del CMB.

En todas estas misiones el esquema que se utiliza para la medida del CMB es el que se presenta en la Fig. 1 [2]. Se trata de un radiómetro compuesto por dos módulos: el Front-End Module (FEM) y el Back-End Module (BEM).

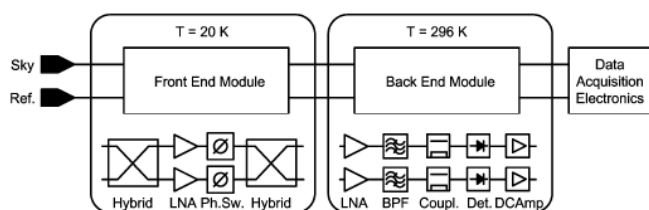


Fig. 1. Esquema del radiómetro

Como se ve en el esquema de la Fig. 1, en el primer módulo (FEM) nos encontramos con un circuito desfasador de dos estados (desfases de 0° y 180°) tras la etapa amplificadora. La banda de funcionamiento del radiómetro para el que se han diseñado estos circuitos será de 26 a 36 GHz.

En este documento se presentan tres diseños diferentes como posible solución para los circuitos desfasadores. Todos los diseños están basados en el uso de transiciones de tramos de línea coplanar a slotline, [3]-[6], cumpliendo el requerimiento de ancho de banda que se necesitaba.

El diseño de los desfasadores se ha realizado sobre un sustrato de Alúmina, y como elemento conmutador se han utilizado diodos PIN, modelo HPND-4005, de Hewlett Packard [7].

Por último se ha procedido a la fabricación de los tres circuitos desfasadores diseñados, y el montaje en unos de ellos de los diodos PIN, realizando medidas de la respuesta en fase de los mismos, observando la diferencia de fase entre cada estado.

## II. DISEÑO TRANSICIONES COPLANAR-SLOTLINE

El diseño de las transiciones comienza con la definición de las características a cumplir por los tramos de línea que hay en la transición, coplanar como slot. En el tramo de línea coplanar se debe proporcionar una impedancia de 50  $\Omega$ , mientras que en el tramo de línea slot se proporciona una impedancia mayor, ya que a la hora de fabricar una anchura de línea, en este caso de 'gap' ya que se trata de una línea tipo slot, se obtenía un valor muy pequeño a estas frecuencias y de difícil fabricación.

En el proceso de medida se han usado sondas coplanares con separación de 150  $\mu\text{m}$  entre contactos, lo que debe tenerse en cuenta para el diseño de la línea coplanar sin plano de masa (CPWG).

En la fabricación se ha utilizado un sustrato de Alúmina de grosor 0.254 mm (10 mils), con una constante dieléctrica  $\epsilon_r = 9.9$  y con plano de masa. La superficie conductora es oro de un espesor de 3 micras.

Para evitar que el sustrato de Alúmina en un posterior montaje en serie, estuviese en contacto directo con superficie conductora que actuase como masa de referencia, el circuito contará con un sustrato adicional de muy baja constante dieléctrica ( $\epsilon_r = 1.18$ ), y que nos permita posar el circuito sin modificar su funcionamiento sobre un útil de medida. El sustrato utilizado para tal solución es FoamClad de grosor 2.59 mm (102 mils), sustrato de suficiente altura para garantizar que la impedancia no se vea afectada por el plano de masa.

El cálculo de los diferentes parámetros del tramo de línea CPWG se ha realizado con LineCalc de ADS, mientras que para el cálculo del tramo de línea slot se ha utilizado el software de cálculo de parámetros de líneas de transmisión TXLine de AWR.

La estructura diseñada como transición de línea coplanar a slotline es la que puede verse en la Fig. 2.

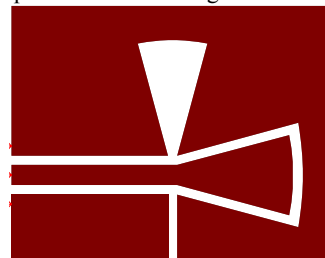


Fig. 2. Esquema de la transición coplanar-slotline

La banda de funcionamiento de la transición, y del posterior desfasador diseñado a partir de la misma, va de 10 a 40 GHz, cubriendo de manera satisfactoria la banda de funcionamiento requerida por el radiómetro. Se utilizan los stubs radiales, que se observan en la Fig. 2, como medio de sintonía de la banda.

### III. DISEÑO DEL DESFASADOR

#### A. Diseño

Se han realizado tres diseños de circuitos desfasadores, para contrastar los resultados en diferencia de fase que se obtienen en cada uno de ellos.

La solución adoptada para conseguir el desfase de  $0/180^\circ$  en función del estado del circuito, consiste en la bifurcación en el tramo slot-line del camino de transmisión. De esta manera se generan dos caminos posibles por el que propagarse la señal, atacando ambos a la transición de salida, teniendo en cuenta que uno de los dos caminos estará cortocircuitado. De esta manera se consigue que en un estado la señal entre a la transición a línea coplanar por unos de sus 'gaps' de separación, mientras que en el otro estado la señal entra por el contrario.

Los tres circuitos presentan en el puerto de acceso la estructura representada en la Fig. 2, mientras que la diferencia entre ellos se encuentra en el camino en slot-line y en la transición a línea coplanar en la salida del circuito.

Estas diferencias en el camino de salida, concretamente en la transición a línea coplanar de salida, se realizaron para observar su comportamiento en fase a lo largo de la frecuencia y posibles mejoras en cuanto a pérdidas de retorno.

En los siguientes apartados se tratan de manera individual los tres circuitos, analizando los resultados obtenidos de la simulación de los mismos.

Se han realizado simulaciones electromagnéticas con el simulador electromagnético de ADS Momentum y HFSS de Ansoft, donde se han tenido que definir las diferentes capas que componen el montaje final (sustrato de Alúmina más sustrato de FoamClad).

#### B. Circuito desfasador 1 $w_{gap}=50 \mu m$

El primero de los circuitos desfasadores diseñados presenta una anchura de línea tipo slot de  $50 \mu m$ , lo que correspondería a una impedancia en slot cercana a los  $50 \Omega$ .

La transición original pasaría de una línea coplanar sin plano de masa (CPWG) de una anchura y gaps correspondientes a  $50 \Omega$ , a una línea en slot de impedancia cercana a  $50 \Omega$ .

El circuito desfasador con el que se trabaja en este caso es el que puede observarse en la Fig. 3:

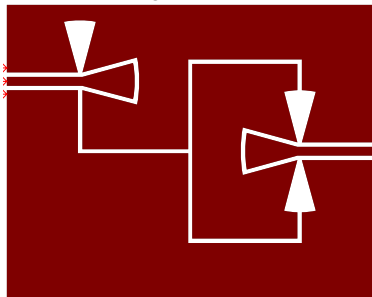


Fig. 3. Primer diseño de circuito desfasador

Para la realización de las simulaciones se han utilizado cortocircuitos para diferenciar cada camino de transmisión posible. De la misma manera para asegurar la equipotencialidad en la línea coplanar, se han colocado hilos de bonding en la discontinuidad existente en el tramo coplanar.

Los hilos de bonding se han simulado añadiendo dos capas adicionales a la definición del sustrato en los simuladores. En Momentum se han definido como una línea conductora de oro, y la segunda capa utilizada como un vía para la interconexión del hilo con la superficie del desfasador. Para el caso de HFSS se ha utilizado el modelo de hilo de bonding que viene definido en el propio simulador.

Los resultados obtenidos de la simulación son lo que se muestran en la Fig. 4, observando una diferencia de fase entre estados de aproximadamente  $180^\circ$ .

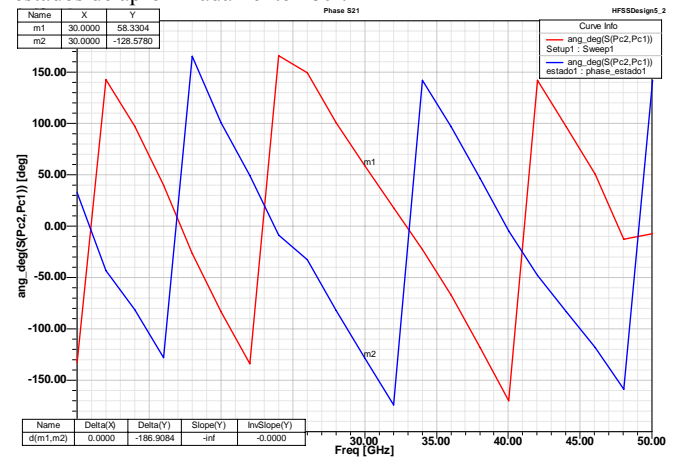


Fig. 4. Resultados en fase: estado 1 (curva azul), estado 2 (curva roja)

#### C. Circuito desfasador 2 $w_{gap}=150 \mu m$

El segundo circuito desfasador que se presenta (Fig. 5) sigue la misma estructura que el del caso anterior, pero con la diferencia que el tramo en slot-line presenta una mayor anchura ( $150 \mu m$ ).

Se adoptó este valor debido a que en las simulaciones realizadas en la transición coplanar-slot, presentada en la Fig. 2, se obtenían mejores resultados en cuanto a pérdidas de retorno.

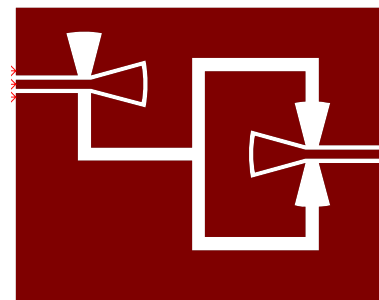


Fig. 5. Segundo circuito desfasador

Los resultados obtenidos en cuanto a fase de ambos estado son lo que se presentan en la Fig. 6, obteniendo valores de desfase alrededor nuevamente de  $180^\circ$ .

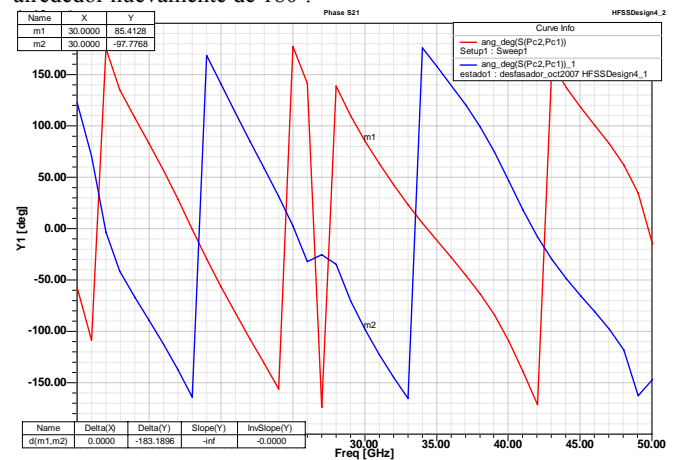


Fig. 6. Resultados en fase: estado 1 (curva azul), estado 2 (curva roja)

#### D. Circuito desfasador 3 $w_{gap}=50\text{ }\mu\text{m}$

El circuito desfasador diseñado es el que se presenta en la Fig. 7. Se vuelve a utilizar una anchura de slot-line de  $50\text{ }\mu\text{m}$ , pero se modifica sustancialmente la transición de salida del circuito.

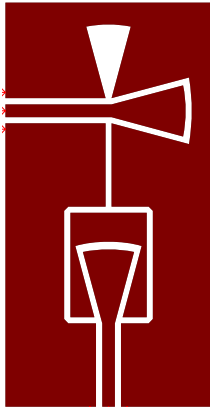


Fig. 7. Tercer circuito desfasador

En los casos anteriores se mantenía la estructura con stubs radiales en la transición de salida. En este caso se ha mantenido la bifurcación del tramo en slot, y con esa misma línea de transmisión se accede a cada uno de los 'gaps' de la línea coplanar de salida.

Con esta última versión del desfasador, los resultados que se obtienen para ambos estados son los que se presentan en la Fig. 8.

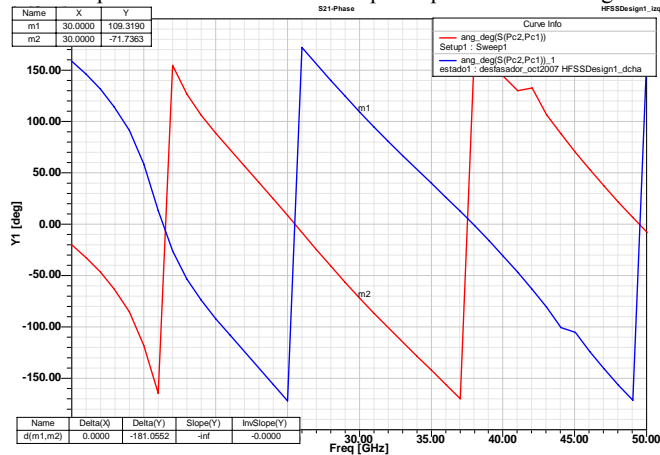


Fig. 8. Resultados en fase: estado 1 (curva azul), estado 2 (curva roja)

#### IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Una vez terminado el proceso de simulación y observados los resultados, se procede a la fabricación y montaje de los tres circuitos desfasadores.

Las medidas de los circuitos se han realizado con el analizador de redes PNA E8364A, midiendo en la estación de sondas coplanares desde 10 a 50 GHz. Para las medidas se ha realizado una calibración TRL con el sustrato CS-5 de PicoProbe [8].

El montaje de los circuitos fabricados en Alúmina, se ha realizado sobre el sustrato de FoamClad. En una primera fase se han montado los tres circuitos con hilos de bonding, cortocircuitando el camino que no se desea. Por último, en uno de los tres circuitos desfasadores, concretamente sobre el segundo de los diseños (anchura de 'gap' del slot  $w=150\text{ }\mu\text{m}$ ), se han montado los diodos PIN HPND-4005 como elemento conmutador entre estados.

##### A. Circuito desfasador 1 $w_{gap}=50\text{ }\mu\text{m}$

Se han fabricado dos circuitos idénticos de este primer desfasador, con motivo de cortocircuitar en cada uno de ellos uno de los caminos. Los circuitos fabricados pueden verse en la Fig. 9.

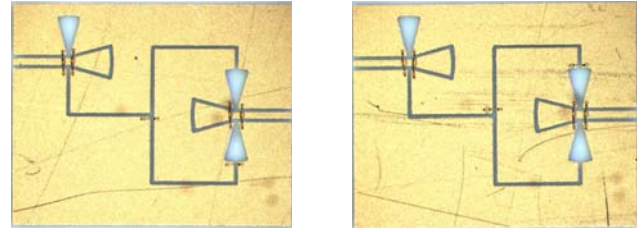


Fig. 9. Primer circuito desfasador en sus dos estados

Los resultados obtenidos de la medida estos circuitos pueden observarse en la Fig. 10, mostrándose resultados en fase, pérdidas de inserción y retorno.

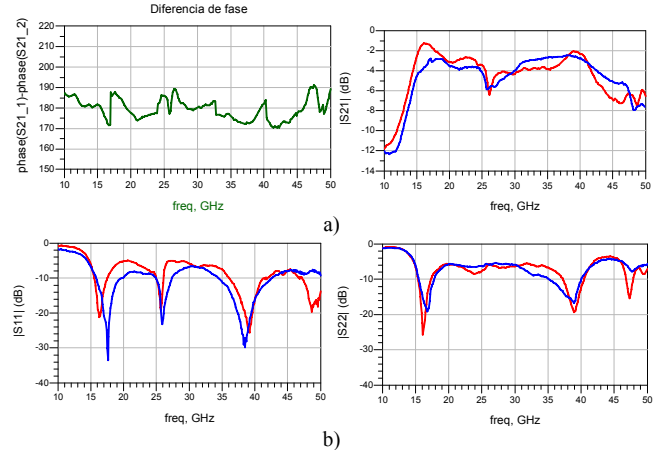


Fig. 10. Resultados de la medida: a) Diferencia de fase y Pérdidas inserción en cada estado; b) Pérdidas de retorno en cada estado

##### B. Circuito desfasador 2 $w_{gap}=150\text{ }\mu\text{m}$

Para el segundo circuito desfasador se fabricaron nuevamente dos unidades, realizando el montaje con hilos de bonding (Fig. 11).

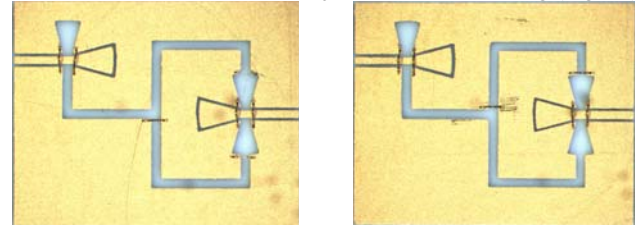


Fig. 11. Segundo circuito desfasador en sus dos estados

Los resultados obtenidos de la medida de estos desfasadores, pueden observarse en la Fig. 12.

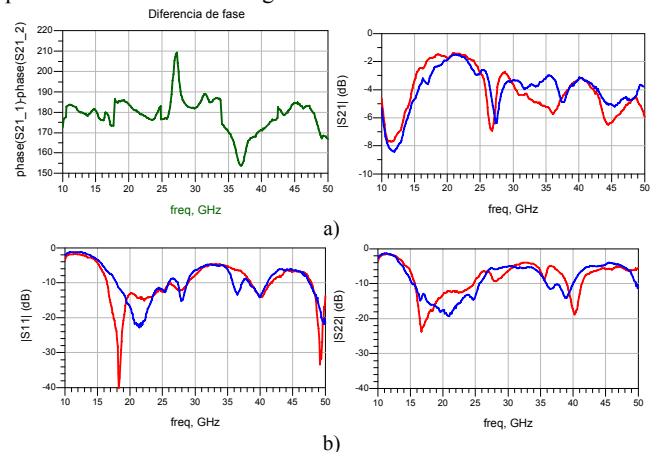


Fig. 12. Resultados de la medida: a) Diferencia de fase y Pérdidas inserción en cada estado; b) Pérdidas de retorno en cada estado

### C. Circuito desfasador 3 $w_{gap}=50\ \mu m$

Se presenta en la Fig. 13 los dos circuitos fabricados para el tercer desfasador diseñado.

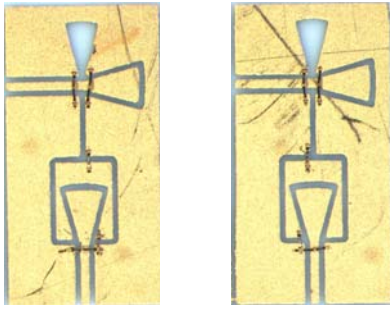


Fig. 13. Tercer circuito desfasador en sus dos estados

En la Fig. 14 pueden verse los resultados de la medida este circuito, obteniéndose un resultado en fase bastante plano en todo el margen de frecuencias.

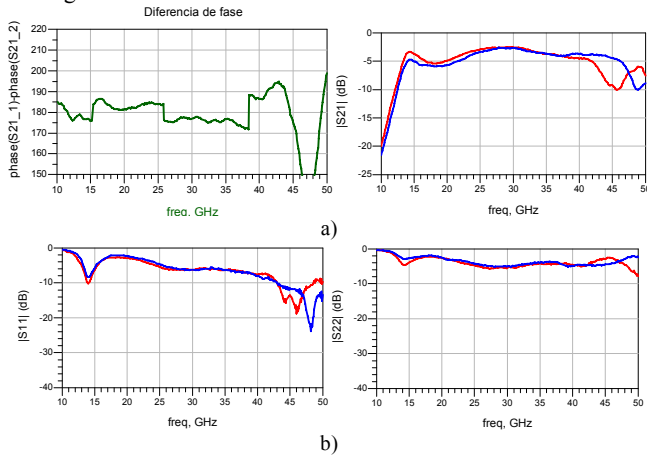


Fig. 14. Resultados de la medida: a) Diferencia de fase y Pérdidas inserción en cada estado; b) Pérdidas de retorno en cada estado

### D. Circuito desfasador 2 con diodos PIN HPND-4005

El último desfasador medido se ha montado con los diodos PIN para conmutar el estado (Fig. 15). Se ha escogido este circuito debido a la sencillez del montaje por la anchura del slot-line, y porque presentaba un error menor en diferencia de fase que el primer circuito diseñado.

La polarización de los diodos PIN se ha realizado por medio de una sonda coplanar para señales de DC de 200  $\mu m$  de pitch de Cascade Microtech. La tensión de polarización aplicada es de 2V, y el consumo total es de 20 mA.

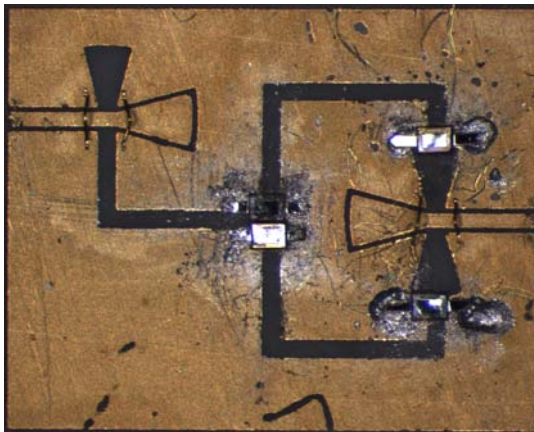


Fig. 15. Circuito desfasador 2 con diodos HPND-4005

En la Fig. 16 se presentan los resultados de la medida de este circuito.

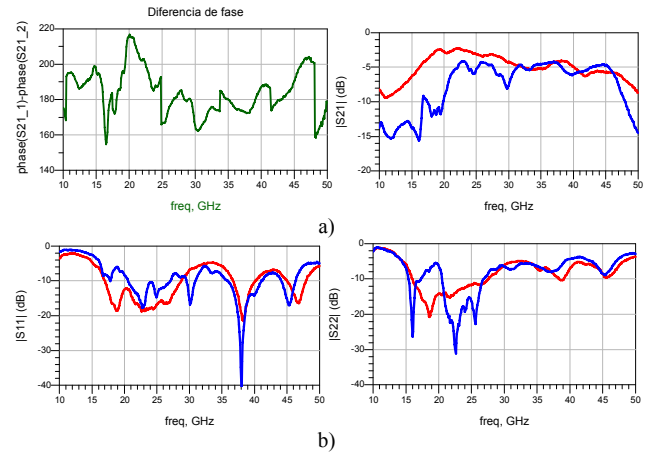


Fig. 16. Resultados de la medida: a) Diferencia de fase y Pérdidas inserción en cada estado; b) Pérdidas de retorno en cada estado

El resultado obtenido en cuanto a diferencia de fase entre estados en la banda de interés de 26 a 36 GHz es aceptable, con un error de  $\pm 10^\circ$ .

## V. CONCLUSIONES

Se han diseñado, fabricado y medido tres circuitos desfasadores de  $180^\circ$  de banda ancha.

Se ha comprobado el funcionamiento de los mismos en la banda de 26 a 36 GHz, así como fuera de ella, presentado todo ellos una diferencia de fase de  $180^\circ \pm 10^\circ$ .

Se ha comprobado la validez de los diodos como elemento de conmutación para la aplicación concreta.

Se está trabajando en estos momentos en la mejora de los diseños presentados, para por medio de la mejora de las pérdidas de retorno obtener una respuesta en fase más plana a lo largo de la banda.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con la financiación del Plan Nacional de I+D+I del Ministerio de Educación y Ciencia, proyecto del Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica, referencia AYA2007-68058-C03-03.

La fabricación y montaje de los circuitos han sido realizados por Alexandrina Pana y Eva Cuerno.

## REFERENCES

- [1] <http://planck.esa.int>
- [2] M. Bersanelli, N. Mandolesi, J. Marti-Canales, "Multi-band Radiometer for Measuring the Cosmic Microwave Background", *Proceedings of 32<sup>nd</sup> European Microwave Conference*, Milan, Italy, Septiembre 2002, pp 547-550
- [3] C. Ho, L. Fan, K. Chang, "Transmission Line Modeling of CPW-Slotline Transitions and CPW Butterfly Filters", *Microwave Symposium Digest, IEEE MTT-S International*, San Diego, California, USA, Mayo 1994, pp 1305-1308, vol. 2.
- [4] C. Ho, L. Fan, K. Chang, "Experimental Investigations of CPW-Slotline Transitions for Uniplanar Microwave Integrated Circuits", *Microwave Symposium Digest, IEEE MTT-S International*, Atlanta, USA, Junio 1993, pp 877-880, vol. 2.
- [5] M.K. Oldenburg, T.M. Weller, "High-efficiency CPW-to-Slotline Transitions on Low  $\epsilon_r$  Substrates", *Microwave and Optical Technology Letters*, Abril 2004, pp. 91-93 Vol. 41, No. 2.
- [6] W. Grammer, K.S. Yngvesson, "Coplanar Waveguide Transitions to Slotline: Design and Microprobe Characterization", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Septiembre 1993, pp 1653-1658 Vol. 41 No. 49.
- [7] "HPND-4005 Beam Lead PIN Diode", Data sheet, Hewlett Packard.
- [8] "CS-5 Calibration Substrates" Data sheet, GGB Industries Inc.